e-ISSN (Online): 2790-3230

Effet des facteurs environnementaux et anthropiques sur les densités des populations adultes et de la régénération de *Detarium microcarpum* au Bénin.

Effect of environmental and anthropogenic factors on adult population and regeneration densities of *Detarium microcarpum* in Benin.

Théophile Abaro Sinadouwirou[*2], Eméline Pélagie Assede[1,2], Apollon Hegbe[2], Hidirou Orou[2], Aliou Dicko[2], Honoré Samadori Biaou[1,2]

Résumé

Detarium microcarpum est une espèce à usages multiples dont l'utilisation comme bois énergie par les populations du Bénin sans contraintes socio-culturelles, constitue un atout pour sa promotion et sa domestication au Bénin. La présente étude a pour objectif d'évaluer l'effet des facteurs environnementaux et anthropiques sur la potentielle disponibilité de *D. microcarpum* à travers ses paramètres démographiques. Au total, 180 placeaux de 50 m x 50 m ont été installés pour la collecte des données. A l'intérieur de chaque placeau cinq quadrats de 5 m x 5 m (25 m^2) ont été établis pour la collecte des données de la régénération. Les densités des populations adultes et de la régénération ont été calculées par phytodistrict. La comparaison multiple des phytodistricts selon chacune des variables dépendantes (densité moyenne, densité de régénération) a été effectuée à l'aide du test post-hoc de Kruskal et les résultats présentés sous forme de boites de dispersion. Les densités moyennes de *D. microcarpum* et de la régénération sont différentes en fonction des phytodistricts. Les phytodistricts du Borgou-Nord, de la Mékrou-Pendjari et du Borgou-Sud ont les plus grandes densités moyennes des adultes. La densité de *D. microcarpum* est plus élevée en zone soudanienne qu'en zone soudano-guinéenne et elle diminue en couverture végétale très dense. La couverture végétale a un effet sur la densité des adultes et de la régénération. Le type de sol, la texture du sol et le passage du feu influencent aussi la densité de la régénération. Il ressort que les facteurs environnementaux et anthropiques influencent les densités (adulte et régénération) de *D. microcarpum* et donc sa disponibilité. Il s'avère nécessaire de déterminer les modalités de son exploitation durable pour son usage à but énergétique.

Mots clés : *D. microcarpum*, caractéristiques structurales, effet, facteurs environnementaux, anthropiques.

Abstract

Detarium microcarpum is a multipurpose species whose use as energy wood by the populations of Benin without socio-cultural constraints, constitutes an asset for its promotion and domestication in Benin. The present study aims to evaluate the effect of environmental and anthropogenic factors on the potential availability of *D. microcarpum* through its demographic parameters. A total of 180 plots of 50 m x 50 m were installed for data collection. Within each plot five quadrats of 5 m x 5 m (25 m^2) were established for the collection of regeneration data. Adult population and regeneration densities were calculated by phytodistrict. The multiple comparison of the phytodistricts according to each of the dependent variables (average density, regeneration density) was carried out using the Kruskal post-hoc test and the results presented in the form of scatter boxes. The average densities of *D. microcarpum* and regeneration are different depending on the phytodistricts. The phytodistricts of Borgou-Nord, Mékrou-Pendjari and Borgou-Sud have the highest average densities of adults. The density

[*] [1]Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin.
[2] Laboratoire d'Ecologie, Botanique et Biologie Végétale, Bénin.
Auteur correspondant : tsinad@yahoo.com. BP : 58 Bembéréké, Bénin ; Tel. (229) 97 11 27 56.
Soumis le 30 septembre 2022 **Accepté pour publication le 15 décembre 2022**

of *D. microcarpum* is higher in the Sudanian zone than in the Sudano-Guinean zone and it decreases in very dense vegetation cover. Vegetation cover has an effect on adult density and regeneration. Soil type, soil texture and the passage of fire also influence regeneration density. It appears that environmental and anthropogenic factors influence the densities (adult and regeneration) of *D. microcarpum* and therefore its availability. It is necessary to determine the methods of its sustainable exploitation for its use for energy purposes.

Keywords: *D. microcarpum*, structural characteristics, effect, environmental, anthropogenic factors.

1. Introduction

Les écosystèmes de l'Afrique subsaharienne présentent une diversité en termes d'espèces végétales et animales. Dans les pays en voie de développement les populations humaines survivent grâce aux plantes et animaux en milieu naturel (Eké, 2011). Ces milieux naturels fournissent des services écologiques et sont aussi utilisés par les humains dans le cadre médicinal, énergétique, alimentaire et autres. Les pressions anthropiques liées aux diverses utilisations ethnobotaniques et les prélèvements répétés, dans l'ignorance des principes d'aménagement forestier durable, viennent accélérer la réduction des densités de ces espèces (Adjonou *et al.,* 2010 ; Deguene *et al.,* 2020). Les paramètres démographiques sont des indicateurs majeurs pour apprécier l'état et l'évolution qualitative et quantitative des peuplements forestiers (Oosterhoom et Kapelle, 2000 ; Kokou *et al.,* 2005).

Detarium microcarpum Guill. & Perr. (Caesalpiniaceae) est une espèce utilitaire à usages multiples en Afrique de l'Ouest (Kouyaté, 2005 ; Bastide & Ouédraogo, 2008 ; Agbo *et al.,* 2017 ; Troaré *et al.,* 2020 ; Lamy *et al.,* 2021). Cette espèce, autochtone est connue pour ses utilisations à des fins alimentaire, énergétique, vétérinaire, artisanale, industrielle et médicinale (Agbo *et al.,* 2017 ; Sinadouwirou *et al.,* 2022). Des études ethnobotaniques ont révélé que toutes les parties de la plante sont sollicitées par les populations locales (Garba *et al.,* 2020). Au Mali, pour son fruit et son bois de feu, les femmes ont classé *D. microcarpum* parmi les trois espèces forestières les plus importantes (Kouyaté, 2005). Le bois de *D. microcarpum* est utilisé comme bois de chauffe, d'artisanat et de service (Gautier *et al.,* 2002 ; Kouyaté, 2005). Son bois est très apprécié par les ménages comme bois énergie (Ouédraogo, 1997) et ceci pour sa grande valeur calorifique (Terrible, 1991), estimée à 19.684 kj/kg et son charbon de bois (Kaboré, 2005). Au vu des qualités énergétiques que présente *D. microcarpum* et de sa préférence par les consommateurs comme source d'énergie domestique (Agbo *et al.,* 2017 ; Sinadouwirou *et al.,* 2022), l'exploitation durable de son bois pourrait contribuer efficacement à compenser une part importante des besoins en énergie domestique des populations aussi bien rurales que urbaines. Malheureusement, comme chez la plupart des espèces à grande valeur d'usages, les pressions anthropiques liées aux diverses utilisations menacent sa pérennité (Fawa *et al.,* 2015 ; Lamy *et al.,* 2020). Cette dernière décennie, *D. microcarpum* a été citée parmi les espèces sauvages prioritaires pour la domestication (Atangana *et al.,* 2014 ; Agbo *et al.,* 2019).

Au Bénin, *D. microcarpum* largement réparti dans les zones soudaniennes et soudano-guinéenne est une espèce commune dans le nord du pays (Agbo, 2018). Le tronc et les branches constituent les parties les plus utilisées à des fins énergétiques (Bois de chauffe et charbon de bois) (Agbo *et al.,* 2017 ; Sinadouwirou *et al.,* 2022). En général, son bois est très apprécié par les populations locales pour l'énergie domestique, particulièrement dans la zone soudanienne et dans les districts phytogéographiques du Borgou-Nord, Mékrou-Pendjari, Atacora et Borgou-Sud (Sinadouwirou *et al.,* 2022). Cette large connaissance de *D. microcarpum* et son utilisation comme bois énergie sans contraintes socio-culturelles par les populations du Bénin, constituent un atout pour sa promotion et sa domestication (Sinadouwirou *et al.,* 2022). La présente étude a été menée sur la base de l'hypothèse selon laquelle les paramètres démographiques (densité des adultes et densité de la régénération) de *Detarium microcarpum* varient au Bénin d'un phytodiscrit à un autre. La principale question liée à cette hypothèse est : Quels sont les effets des facteurs environnementaux et anthropiques sur les densités de *Detarium microcarpum* au Bénin ? Ainsi, il s'est agi (i) d'évaluer les paramètres démographiques (densité des adultes et densité de la régénération) dans les phytodistricts et (ii) d'analyser l'effet des facteurs environnementaux et anthropiques sur ces paramètres démographiques.

2. Matériel et Méthodes

Présentation de la zone d'étude

La présente étude a été conduite au Bénin dans l'aire de grande distribution de *D. microcarpum,* notamment dans la zone soudanienne (9°30 - 12°30 N) et la zone soudano-guinéenne (7°30 - 9°30N). Six (06) phytodistricts ont été considérés sur les douze que compte le Bénin ; trois dans la zone soudanienne (Borgou-Nord, Mékrou-Pendjari et Atacora,) et trois dans la zone soudano-guinéenne (Borgou-Sud, Bassila et Zou) (Figure 1). La pluviométrie annuelle moyenne est de 1200 mm dans la zone soudano-guinéenne alors qu'elle est de 1050 mm dans la zone soudanienne (Adomou *et al.,* 2011). Les deux zones climatiques sont toutefois caractérisées par un seul pic pluviométrique, généralement au mois d'août. La température varie de 24 °C à 31 °C et l'humidité relative est entre 18 % et 99 % (Mensah *et al.,* 2014). On y rencontre les sols de type ferrugineux tropical, les sols peu évolués avec des minéraux bruts et les sols ferrugineux lessivés et hydromorphes dans la zone soudanienne et, les sols de type ferrugineux tropical avec des intrusions de sols ferralitiques à concrétions et peu profonds dans la zone soudano-guinéenne. Les formations végétales rencontrées sont les savanes arborées et arbustives, les forêts claires, les savanes boisées, les galeries forestières et les forêts denses semi-décidues (Adomou *et al.,* 2006, Natta et al., 2011). Cette zone est aussi marquée par la présence des aires protégées (forêts classées et parcs nationaux). Ces aires protégées principaux refuges de la diversité biologique du Bénin, subissent les menaces dues à l'agriculture extensive, l'élevage extensif et les feux de végétation incontrôlés (Fournier *et al., 2007*). La population de la zone d'étude est estimée à plus de 6 millions habitants constituées de plusieurs groupes socio-linguistiques et culturels. La densité de la population est estimée à plus de 90 habitants/km2 dans la zone soudano-guinéenne contre environ 45 habitants/km2 dans la zone soudanienne. Les principales activités des populations sont l'agriculture, la transformation, l'élevage et le commerce (INSAE, RGPH-4, 2013).

Echantillonnage et collecte des données

La collecte des données a été faite dans 180 placeaux de 50 m x 50 m (2500 m^2) disposés systématiquement avec une équidistance de 10 km suivant cinq transects. Les transects ont été établis le long des deux principaux axes routiers Sud-Nord à savoir Dassa-Parakou-Malanville et Dassa-Bassila-Djougou-Natitingou-Porga et de trois axes routiers Est-Ouest à savoir Yaoui-Bantè ; Nikki-Ndali-Djougou-Ouaké et Ségbana-Kandi-Banikoara. Cet échantillonnage a couvert tous les six (06) phytodistricts de l'aire de répartition de *D. microcarpum* (Figure 1).

Dans cette étude, sont considérés comme des populations adultes les individus dont le diamètre à 1,30 m du sol (Dbh)) est supérieur ou égal à 5 cm et comme régénération les individus dont le Dbh est inférieur à 5 cm. Les données collectées dans chaque placeau sont : l'absence/présence de *D. microcarpum* ; le type, la structure et la texture du sol ; le niveau de perturbation ; la couverture végétale (léger, moyen, dense, très dense) ; le nombre d'individus toutes espèces confondues (dbh ≥5 cm) ; le nombre total de *D. microcarpum* (dbh ≥5 cm) ; le nombre de pieds (écorcés, élagués, brûlés, souches).

Pour l'étude de la régénération, cinq quadrats de 5 m x 5 m (25 m2) ont été établis à l'intérieur de chaque placeau, un dans chaque coin (4) et un cinquième au centre (Figure 2). Dans chaque quadrat, les données collectées sur la régénération du *D. microcarpum* est le nombre de tiges (dbh < 5 cm).

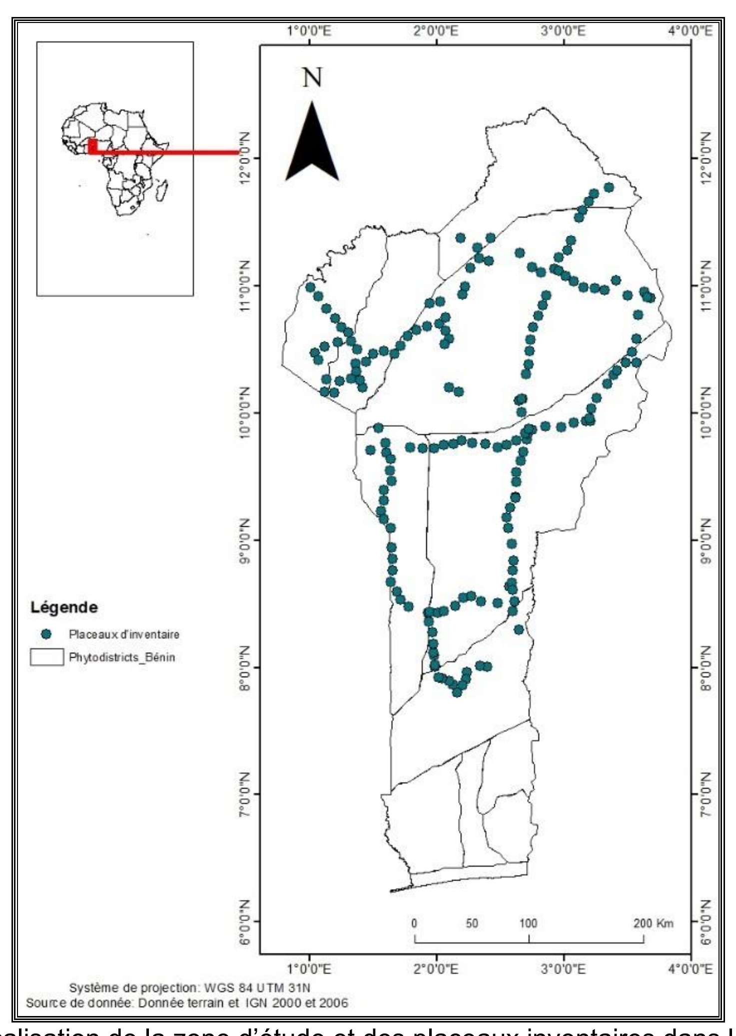


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude et des placeaux inventaires dans les six (06) phytodistricts

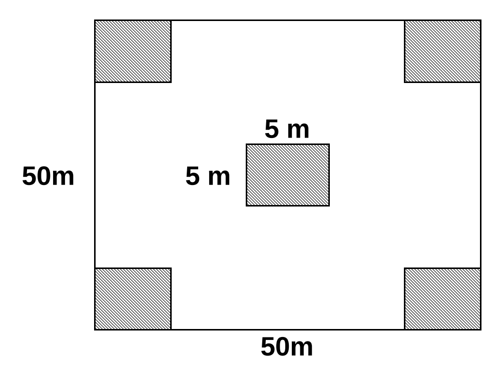


Figure 2 : Dispositif de collecte des données de la régénération

Traitement et analyse des données

Paramètres démographiques

Les données de l'inventaire collectées ont été utilisées pour calculer les paramètres démographiques par phytodistrict. Il s'agit notamment de la densité moyenne des pieds adultes et de la densité moyenne de la régénération. Des comparaisons multiples des phytodistricts selon chacune des variables dépendantes (densité moyenne, densité de régénération) ont été effectuées à l'aide du test post-hoc de Kruskal sous le package ''*agricolae''* (de Mendiburu, 2021). Les résultats ont été présentés sous forme de boites de dispersion à l'aide du package ''*ggplot2''* (Whickam *et al.* 2019).

Appréciation de l'effet des facteurs environnementaux et anthropiques sur les paramètres démographiques

Les variables comme la zone écologique, le phytodistrict, le type de sol, la texture du sol, le type de formation végétale et le degré de fermeture du couvert végétal ont été utilisées pour appréhender l'effet de certains facteurs environnementaux sur la disponibilité (densité) de *D. microcarpum*. De plus le nombre de pieds brûlés et l'indicateur de pressions anthropiques relevés (nombre de pieds écorcés + élagués + coupés) ont été utilisés pour comprendre l'impact humain sur l'espèce. A cet effet, des modèles linéaires à effets mixtes ont été utilisés pour évaluer la part aléatoire de la variation de cette disponibilité due aux individus de *D. microcarpum* et l'effet fixe des variables environnementales.

Afin d'obéir au principe du rasoir d'Ockham, le modèle minimum adéquat a été recherché par élimination de variables explicatives moins importante. Une première étape de sélection de variables a consisté à évaluer la multicolinéarité entre les variables explicatives dans un modèle global les intégrant tous ensemble. Ainsi un diagnostic global de multicolinéarité a été effectué sous le package ''*mctest*'' (Imdad et Aslam, 2018) puis le facteur d'inflation de variance (FIV) a été calculé pour chacune de ces variables sous le package ''*car* '' (Fox et Weisberg, 2019), pour éliminer progressivement les variables au FIV supérieur ou égal à 5 afin de rendre plus précise l'estimation des coefficients de régression après ajustement du modèle. De ce nouveau modèle incluant uniquement les variables explicatives au FIV inférieur à 5, les variables au coefficient non significatif, ont été éliminées. A chaque fois, le modèle est ajusté d'une part sans effet aléatoire (régression linéaire binomiale négative - GLM.NB) sous le package ''*MASS''* (Venables et Ripley, 2002) pour la densité moyenne des pieds adultes et celle de régénération) et d'autre part avec effet aléatoire (régression linéaire binomiale négative à effet mixte (GLMM.NB) pour la densité moyenne des pieds adultes et celle de régénération.

Toutefois, afin de s'assurer d'une bonne sélection, tous les modèles y compris le modèle global ont été comparé sur la base du Critère d'information de Akaike (AIC) pour choisir le modèle expliquant au mieux la variation de la variable expliquée avec le plus petit nombre possible de variables explicatives.

3. Résultats

Caractéristiques démographiques de *D. microcarpum*

Le tableau 1 présente les caractéristiques démographiques de *D. microcarpum* dans la zone d'étude. Les densités moyennes varient de 15,4 ± 2,8 tiges/ha dans le phytodistrict du Zou à 62,1 ± 48,5 tiges dans le phytodistrict du Borgou-Nord. Les coefficients de variation (CV) sont élevés dans le Mékrou-Pendjari (83,9%), Borgou-Sud (83,1%) et le Borgou-Nord (78,1%) et traduisent la grande variabilité de la densité de *D. microcarpum* d'un site à un autre à l'intérieur de ces phytodistricts. Dans le phytodistrict du Zou la densité de régénération est de 249,1 ± 234 tiges/ha. Les densités de régénération les plus élevées sont observées dans Borgou-Nord (646,9 ±536 tiges/ha) et Mékrou-Pendjari (646,2 ± 582,8 tiges/ha) avec une très grande variation en leur sein (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques démographiques de *D. microcarpum* dans les six phytodistricts

Densités (tiges/ha±SD)	Atacora	Bassila	Borgou Nord	Borgou Sud	Mékrou Pendjari	Zou
Population adulte	34,0±21,4	32,5±22,0	62,1±48,5	51,0±42,4	47,1±39,5	15,4±2,8
Régénération	414,7±205,2	232,5±245,1	646,9±536,0	392,7±412,8	646,2±582,8	249,1±234,0

Les densités moyennes des phytodistricts de Borgou-Nord, Borgou-Sud et Mékrou-Pendjari sont significativement plus élevées que celles des phytodistricts de l'Atacora et de Bassila alors que le Zou abrite la plus faible densité (Figure 3a). Toutefois, on note une grande variation de la densité à l'intérieur des phytodistricts du Borgou-Nord et du Borgou-Sud comparativement aux autres phytodistricts (Figure3a). Alors que les phytodistricts Borgou-Nord, Borgou-Sud et Mékrou-Pendjari ne diffèrent pas en termes de densité des pieds adultes (Figure 3a), elles le sont bien du point de vue de la densité de régénération (Figure 3b). En effet, la densité de régénération est significativement plus élevée dans le phytodistrict Borgou-Nord mais plus faible dans le phytodistrict de Bassila (Figure 3b).

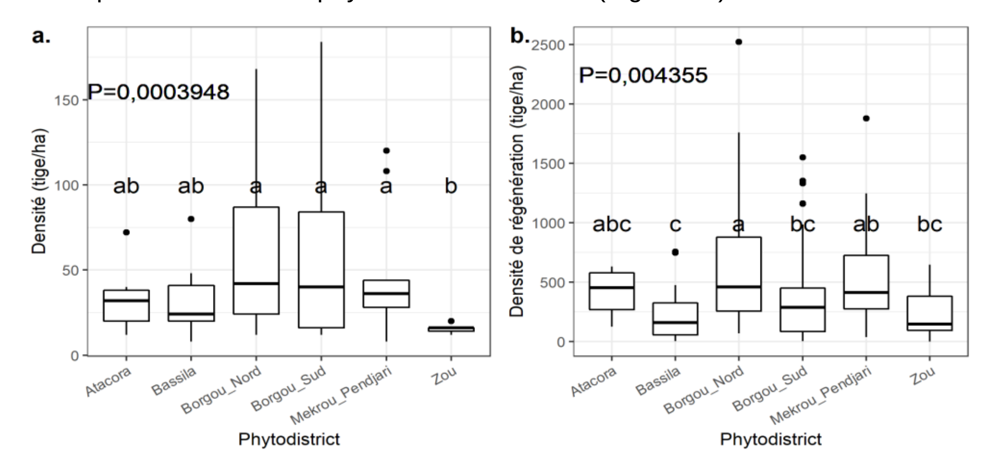


Figure 3 : Comparaison multiple a.) de la densité moyenne, b.) de la densité de régénération

Effet des facteurs environnementaux et anthropiques sur la densité des populations et la densité de régénération de *D. microcarpum*

Effet de l'environnement sur la densité de Detarium microcarpum

Le diagnostic de multicolinéarité révèle de colinéarité entre plusieurs variables explicatives (Tableau 3a). Ainsi, les variables « Phytodistrict » et « Type de végétation » ont des facteurs d'inflation de variance (FIV) dépassant 10 (Tableau 3b), ce qui suggère la nécessité de les éliminer de la procédure de modélisation pour éviter ou atténuer l'inflation de variance dans les modèles. Selon le critère AIC les modèles « mod3 » et « modm3 » sont les plus parcimonieux (Tableau 4a). Ces modèles comportent les mêmes variables explicatives sauf que le second comporte en plus des effets fixes des variables explicatives, l'effet aléatoire dû aux individus de *D. microcarpum*. Ainsi, le tableau 3 indique que le modèle « modm3 » explique au total 97% de la variation de la densité des pieds adultes de l'espèce. En effet, 23% de cette variation est due à l'effet fixe des variables explicatives dans ce modèle et 74% est due à l'effet aléatoire des individus de l'espèce (Tableau 4b). En ce qui concerne l'effet fixe des variables explicatives, on note que la densité des pieds adultes est significativement plus élevée dans la zone soudanienne comparativement à la zone guinéo-soudanienne. De plus, la densité du couvert végétal influe significativement sur la densité de l'espèce. Ainsi, à mesure que la couverture végétale est dense, l'espèce se présente en de forte densité.

e-ISSN (Online): 2790-3230

Toutefois quand la couverture végétale devient très dense, la densité de l'espèce diminue significativement (Tableau 4c).

Tableau 3a : Diagnostic global de multi-colinéarité (MC) entre les variables indépendantes

	Résultats MC	detection
Determinant |X'X| :	0.0000	1
Farrar Chi-Square :	1574.7603	1
Red Indicator :	0.1621	0
Sum of Lambda Inverse :	148.8466	1
Theil's Method :	9.7952	1
Condition Number:	38.0878	1

Légende : 1 --> colinéarité détectée par le test ; 0 --> colinéarité non détectée par le test.

Tableau 3b : Facteur d'inflation de la variance (FIV) par variable indépendantes

	GFIV	ddl	GFIV^(1/(2*ddl))
Zone_écologique	3.418754	1	1.848987
Phytodistricts	15.236001	5	1.313068
Type_sol	3.205779	2	1.338084
Texture_sol	8.451960	7	1.164692
Type_végétation	13.444635	7	1.203956
Couvert_végétal	7.483720	3	1.398577
Nbr_pieds_Det_brulés	1.240360	1	1.113714
Total_Pression_Anthroprique (pieds coupés + pieds écorcés)	1.373656	1	1.172031

Légende : GFIV = Facteur d'inflation de variance généralisé ; ddl=degré de liberté.

Tableau 4a : Indice AIC (Critère d'Information Aike) des modèles statistiques de la densité des pieds adultes

Label	Corps du modèle		ddl	AIC
	Effets fixes	**Effet aléatoire**		
modG	Densite_Det ~ Zone_ecologique + Phytodistricts + Type_sol + Texture_sol + Type_vegetation + Couvert_vegetal + Nbr_pieds_Det_brulés + Total_Pression_Anthro		29	1,202
mod1	Densite_Det ~ Zone_ecologique + Type_sol + Texture_sol + Couvert_vegetal + Nbr_pieds_Det_brulés + Total_Pression_Anthro		17	1,202
mod2	Densite_Det ~Zone_ecologique+Type_sol+Couvert_vegetal		8	1,190
mod3	Densite_Det ~ Zone_ecologique + Couvert_vegetal		6	1,187
modm1	Densite_Det ~ Zone_ecologique + Type_sol + Texture_sol + Couvert_vegetal + Nbr_pieds_Det_brulés + Total_Pression_Anthro	N° ID des plants	18	1,198

modm2	Densite_Det ~Zone_ecologique+Type_sol+Couvert_vegetal	N° ID des plants	9	1,189
modm3	Densite_Det ~ Zone_ecologique + Couvert_vegetal	N° ID des plants	7	1,187

Légende : ddl= degré de liberté.

Tableau 4b : Proportion de variance expliquée par les effets fixes et l'effet aléatoire du modèle.

Transformation	r²_Effet_Fixe	r²_Effet_Aleatoire	R²_Total
delta	0.2304	0.7409	0.9713
lognormal	0.2304	0.7411	0.9716
trigamma	0.2303	0.7407	0.9710

Tableau 4c: Résumé du model minimum adéquat de l'effet des variables explicatives sur la densité des pieds adultes.

	Coefficient	Erreur Standard	Statistique z	Pr(>|z|)	
(Ordonnée à l'origine)	2.5982	0.1933	13.441	< 2e-16	***
Zone soudanienne	0.8722	0.1743	5.003	5.64e-07	***
Couvert_vegetalb.Moyen	0.4908	0.1461	3.360	0.00078	***
Couvert_vegetalc.Dense	0.5086	0.2339	2.174	0.02967	*
Couvert_vegetald.Tres_dense	-0.5694	0.8276	-0.688	0.49140	

Effet de l'environnement sur la densité de la régénération

Le diagnostic de multicolinéarité montre de colinéarité entre plusieurs variables explicatives (Tableau 5a). Ainsi, les variables « Phytodistrict » et « Type de végétation » ont des VIFs dépassant 10 (Tableau 5b), ce qui suggère la nécessité de les éliminer de la procédure de modélisation pour éviter ou atténuer l'inflation de variance dans les modèles. Selon le critère AIC le modèle « modR2 » est le plus parcimonieux (Tableau 6a). Ce modèle explique environ 42% de la variation de la densité de régénération (Tableau 6b). En effet, la densité de régénération ne diffère pas significativement entre zones écologiques. Par contre, elle diffère entre types de sol, entre structures du sol, entre couvertures végétales et selon le nombre de pieds brûlés. La densité de la régénération est significativement favorisée par les sols caillouteux, les sols à sable grossier, les sols limoneux-sableux, les sols à argile lourd. Une couverture végétale dense voir très dense influence négativement la densité de régénération puisque le modèle indique une différence de densité de régénération négative et significative entre les formations végétales à couverture moyenne/légère et celles à couverture dense d'une part et d'autre part entre les formations végétale à couverture moyenne/légère et celles dont la couverture est très dense (Tableau 6c). Le nombre de pieds brulés a influencé positivement la densité de régénération. Ainsi, un pied brulé supplémentaire entraine une augmentation de la densité de régénération de 0,06 unité. Cette densité de la régénération augmente pour un faible nombre de pieds brûlés mais devrait diminuer pour un grand nombre de pieds brûlés.

e-ISSN (Online): 2790-3230

Tableau 5a: Diagnostic global de multi-colinéarité (MC) entre les variables indépendantes

	Résultats MC	Détection
Determinant |X'X|:	0.0000	1
Farrar Chi-Square:	1530.1906	1
Red Indicator:	0.1539	0
Sum of Lambda Inverse:	146.6256	1
Theil's Method:	9.4056	1
Condition Number:	37.7087	1

Légende : 1 --> colinéarité détectée par le test ; 0 --> colinéarité non détectée par le test

Tableau 5b: Facteur d'inflation de la variance (FIV) par variable indépendante

	GFIV	ddl	GFIV^(1/(2*ddl))
Zone_écologique	3.418754	1	1.848987
Phytodistricts	15.236001	5	1.313068
Type de sol	3.205779	2	1.338084
Texture de sol	8.451960	7	1.164692
Typede végétation	13.444635	7	1.203956
Couverture végétale	7.483720	3	1.398577
Nombre de pieds_Detarium_brulés	1.240360	1	1.113714
Total_Pression_Anthropique (pieds coupés + pieds écorcés)	1.373656	1	1.172031

Légende : GFIV = Facteur d'inflation de variance généralisé ; ddl=degré de liberté.

Tableau 6a: Indice AIC (Critère d'Information d'Aike) des modèles statistiques.

Label	Corps du modèle		ddl	AIC
	Effets fixes	Effet aléatoire		
modRG	Densite_regeneration ~ Zone_ecologique + Phytodistricts+ Type_sol+ Texture_sol+ Type_vegetation+ Couvert_vegetal + Nbr_pieds_Det_brulés+ Total_Pression_Anthropiques		29	1,762
modR1	Densite_regeneration ~ Zone_ecologique + Type_sol + Texture_sol+ Couvert_vegetal+ Nbr_pieds_Det_brulés+ Total_Pression_Anthropique		17	1,761
modR2	Densite_regeneration ~ Zone_ecologique + Type_sol + Texture_sol + Couvert_vegetal + Nbr_pieds_Det_brulés		16	1,759
modR3	Densite_regeneration ~ Zone_ecologique + Texture_sol + Couvert_vegetal + Nbr_pieds_Det_brulés		14	1,760

modRm1	Densite_regeneration ~ Zone_ecologique + Type_sol + Texture_sol+ Couvert_vegetal+ Nbr_pieds_Det_brules+ Total_Pression_Anthro	ID des plants	18	1,791
modRm2	Densite_regeneration ~ Zone_ecologique + Type_sol + Texture_sol + Couvert_vegetal + Nbr_pieds_Det_brules	ID des plants	17	1,790
modRm3	Densite_regeneration ~ Zone_ecologique + Texture_sol + Couvert_vegetal + Nbr_pieds_Det_brulés	ID des plants	15	1,794

Tableau 6b: Proportion de variance de variance expliquée par les variables explicatives.

Transformation	r²_Effet_Fixe
delta	0.4284
lognormal	0.5014
trigamma	0.3387

Tableau 6c: Résumé du model minimum adéquat de l'effet des variables environnementales sur la densité de régénération

	Coefficient	Erreur standard	Statistique z	Pr(>|z|)	
(Ordonné à l'origine)	2.34360	0.84194	2.784	0.005376	**
Zone_ecologique-Soudanien	0.36457	0.27334	1.334	0.182278	
Type_sol-ferrugi_tropic	0.56660	0.25675	2.207	0.027325	*
Type_sol-hydromorphe	2.70024	1.32439	2.039	0.041464	*
Texture_sol-Argile_legere	0.81598	1.37003	0.596	0.551449	
Texture_sol-Argile_lourde	3.07671	1.32595	2.320	0.020320	*
Texture_sol-Caillouteux	2.71320	0.76092	3.566	0.000363	***
Texture_sol-Limon	1.91953	0.88371	2.172	0.029846	*
Texture_sol-Limon_sable	2.48323	0.77534	3.203	0.001361	**
Texture_sol-Sable_fin	1.62554	1.05806	1.536	0.124457	
Texture_sol-Sable_grossier	2.79333	0.81449	3.430	0.000605	***
Couvert_vegetal-Moyen	0.01875	0.23028	0.081	0.935107	
Couvert_vegetal-Dense	-0.75441	0.35624	-2.118	0.034201	*
Couvert_vegetal-Tres_dense	-4.11094	1.24009	-3.315	0.000916	***
Nombre_pieds_Detarium_brulés	0.06043	0.02233	2.706	0.006819	**

4. Discussion

Les densités moyennes obtenues (15,4 à 62,1 tiges/ha) dans la présente étude sont très supérieures à celles obtenues au nord du Cameroun (1,8 à 4,8 tiges/ha) par Lamy *et al.* (2021) ; mais largement inférieures à celles obtenues par Kagambega *et al*. (2019) et Traoré *et al.* (2020) au Burkina-Faso (109 à 374 tiges/ha). La densité moyenne est significativement plus élevée en zone soudanienne qu'en zone

soudano-guinéenne. Cela explique que *D. microcarpum* est globalement bien adaptée à la zone soudanienne. Ces résultats corroborent ceux de Bastide et Ouedraogo (2008) au Burkina-Faso où la densité du *D. microcarpum* est favorisée par la forte capacité d'émission de rejets de souche et de drageons sous l'effet des feux de végétation en zone soudanienne. Par ailleurs, la diminution de la densité en zone soudano-guinéenne s'explique par la pression anthropique et d'autres facteurs environnementaux (végétation, climat, etc) telle que mentionné dans le travaux de Dossa *et al.,* (2019) dans son étude sur la caractéristique structurale de *Detarium senegalense* au Bénin. Dans un même secteur climatique, la densité des peuplements est plus élevée dans les aires protégées que les aires non protégées (Traoré *et al.*, 2020). Les aires protégées ont un impact positif sur la conservation des arbres en limitant leur surexploitation, en particulier dans le stade juvénile (Adjahossou *et al.,* 2016). La densité diminue donc avec les coupes de végétation par la population locale pour satisfaire leurs besoins en bois énergie. Au Bénin, Agbo *et al.* (2017) ont trouvé que l'espèce est moins distribuée dans la zone soudano-guinéenne plus précisément dans le phytodistrict Zou où elle est surexploitée et uniquement présente par interdiction d'anthropisation dans les forêts classées. Les phytodistricts du Borgou-Nord, Mékrou-Pendjari et Borgou-Sud constituent le groupe des phytodistricts de plus grandes densités parce que ces phytodistricts regorgent de plusieurs forêts classées et des parcs nationaux du Bénin. Les densités de régénération de *D. microcarpum* varient de 232 à 647 tiges/ha d'un phytodistrict à un autre. Les densités de régénérations sont plus élevées dans le Borgou-Nord suivi de Mékrou-Pendjari du fait de la forte présence des aires protégées (forêts classées et parcs nationaux). Ces densités sont globalement similaires à celles obtenues par Kagambega *et al.* (2019) dans trois Unités d'Aménagement Forestier (UAF) du domaine d'Aménagement de Cassou (308, 486 et 595 tiges/ha) au Burkina-Faso. Cette régénération naturelle est constituée des rejets de souches, de drageons et des semis naturels. En effet, les activités anthropiques de coupes pour le bois de feux favorisent les rejets de souche et les drageons qui prédominent la régénération naturelle de *D. microcarpum.* Selon Nacoulma (2005) avec les coupes frauduleuses de bois ainsi que les feux de brousses répétés et incontrôlés la régénération des espèces devraient être faible comme observée chez *Burkea africana* (Boussim *et al.,* 2009) et *Vitellaria paradoxa* (Dan Guimbo *et al.,* 2010). La bonne régénération de *D. microcarpum* malgré les facteurs de dégradation, s'explique par la grande capacité de reproduction végétative (rejets, drageons) de l'espèce qui constitue un atout de régénération car les drageons et les rejets ont une croissance plus rapide que les semis (Bellefontaine *et al.,* 2000). Ces résultats s'expliquent également par le fait que *D. microcarpum* présente au stade juvénile une bonne capacité d'adaptation aux principaux facteurs traumatisants du milieu, tels que la sécheresse, les feux et la coupe répétée (Sawadogo, 2006). La densité de régénération est significativement différente entre phytodistricts à cause des différents niveaux d'influence ou d'intensité des facteurs environnementaux et anthropiques d'un phytodistrict à un autre.

La densité moyenne des adultes de *D. microcarpum* augmente significative avec la couverture végétale pour diminuer significativement en couverture végétale très dense. La densité d'une espèce est liée au recouvrement et la densité des autres espèces (Rabiou *et al.,* 2015). Les couvertures végétales légère/moyenne et dense ont donc des densités plus élevées que les couvertures très denses ce qui explique que les densités de *D. microcarpum* soient plus élevées dans les forêts claires, les savanes boisées et les savanes arborées que dans les forêts denses sèches et les galeries forestières. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Lamy *et al.* (2021) au nord du Cameroun. Aussi, ces résultats confortent-t-il les statistiques de la présente étude en ce sens que les densités de Borgou-Nord, Borgou-Sud et Mékrou-Pendjari, où prédominent les savanes, sont significativement plus élevées que la densité de Bassila où prédominent les galeries forestières, les forêts denses sèches et aussi des forêts denses semi-décidues. Ce résultat met en relief la capacité de *D. microcarpum* à faire face à la concurrence pour la lumière et pour l'espace en peuplement naturel malgré sa taille relativement moyenne (4 à 7 m de hauteur).

Selon Rabiou *et al.* (2015), la densité des plantules *Pterocarpus erinaceus* diminue lorsque le recouvrement augmente. La densité de la régénération de *D. microcarpum* diminue aussi des couvertures végétales dense à très denses. Elle est donc plus élevée en couverture moins dense qu'en couvertures denses et très denses. Cela explique la compétition pour la lumière qui expliquerait que la densité de *D. microcarpum* soit plus élevée en savanes qu'en forêts denses sèches ou forêts galeries où la régénération n'avait pas réussi à prospérer du fait de la faiblesse de la lumière en sous-bois. En effet, la lumière a un effet positif sur la croissance des jeunes plants d'arbres lié à une meilleure photosynthèse. Des études ont démontré l'intérêt d'une luminosité « médiane » afin de permettre la régénération sans trop favoriser le sous-bois

(Vernay, 2017). La régénération de *D. microcarpum* se développe naturellement lorsque certains facteurs (texture du sol, type de sol) sont favorables (Agbo *et al.,* 2017). Sur sol à sable grossier, sur sol caillouteux/gravillionnaire, sur sol limoneux-sableux, et aussi argileux, la densité moyenne de la régénération est significativement plus élevée. Ces résultats concordent avec ceux d'une étude conduite au Mali par Kouyaté (2005), montrent que les sols à *D. microcarpum*, par ordre de citations, sont gravillonnaires (70 %), sableux (20 %), rouge (10 %), rocheux (2 %) et argileux (0,2 %). Cette prédominance de support gravillionnaire et de sable grossier peut être liée au système radiculaire horizontal de l'espèce lui permettant de profiter le mieux des fissures existant dans ces types de sols (Kouyaté, 2005). En dépit de cette différence de la densité moyenne de la régénération en fonction des caractéristiques structurales et texturales du sol, la densité moyenne des pieds adultes *D. microcarpum* ne diffère pas significativement selon les structures/types de sol. Ceci, pourrait s'expliquer par une faible résistance à la concurrence ou autres facteurs (stress, anthropiques, etc) aboutissant à un fort taux de mortalité de la régénération qui s'est établie sur sols caillouteux, sur sols à sable grossier et sols limoneux-sableux, au cours de la période du passage des stades de développement (régénération, juvénile, adulte). Bationo *et al.* (2010); Kouyaté et Lamien (2011) ont également signalé que le type de sol, la texture de sol et la situation topographique n'influence pas la densité des pieds adulte de *D. microcarpum* du fait de sa capacité de pousser sur tout type de sol. Dans l'étude de la dynamique spatio-temporelle d'habitat convenable de *D. microcarpum,* Agbo *et al.* (2018) ont montré que *D. microcarpum* est envahissante. Avec le passage du feu, exprimé dans cette étude par le nombre de pieds de *D. microcarpum* brûlés, la densité de la régénération augmente significativement. Le feu est un facteur de stress pour l'espèce l'excitant à améliorer sa capacité de produire des rejets à partir de tige ou de souche de drageonnage (Madjimbe *et al.,* 2019). Aussi, le passage du feu produit-il de la cendre riche en éléments minéraux qui favorise le développement de la régénération. Par ailleurs, en règle générale, il est admis que le feu stimule les microorganismes du sol, par augmentation du pH du sol avec l'incorporation des cendres riches en matières organiques facilement minéralisables, et surtout par la modification des conditions microclimatiques du sol (Raison *et al.,* 1986). Une biomasse microbienne constamment plus importante que dans les zones témoin, après un brûlage dirigé a été obtenue par Gillon (1990). L'effet combiné d'apport d'éléments minéraux et du développement des micro-organismes dans le sol après le passage du feu pourrait expliquer l'effet positif sur la densité de la régénération. Il s'avère toutefois important de souligner que cet effet positif sur la régénération serait indiqué pour les feux précoces où contrôlés non fréquents, car cet effet sera très probablement limité ou négatif avec des feux répétés ou des feux tardifs, avec l'augmentation de l'intensité du feu ou un accroissement du nombre de passage du feu. Le feu répétitif attaque un plus grand nombre de pieds ; cela entraine une régression de la densité de régénération. Le passage annuel des feux ralentit la croissance des rejets et en diminue le nombre du fait de la forte mortalité des brins de circonférence basale inférieure à 16 cm (Bastide *et al.,* 2008). Toutefois, au même moment, le passage annuel de feux engendre une importante induction de l'émission de rejets de souche et la pérennité de la régénération suite à l'abscission des petites tiges (Bastide *et al.,* 2008). Mais le feu affecte négativement la régénération sexuée de l'espèce à travers la destruction des fruits (Bastide *et al.,* 2009). Dans le contexte de la production de bois de feu, il serait nécessaire d'adopter des mesures sylvicoles consistant à contrôler ou empêcher le passage des feux sur une longue période et/ou d'effectuer les coupes basées sur des modalités (hauteur, diamètre, après les feux, saison, etc) déterminées et appropriées.

5. Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que les densités moyennes et les hauteurs moyennes de *D. microcarpum* sont différentes en fonction des phytodistricts. Les phytodistricts du Borgou-Nord, de la Mékrou-Pendjari et du Borgou-Sud ont les plus grandes densités moyennes. Le Zou présente la plus faible densité de pieds adultes et de régénération. La densité de *D. microcarpum* est plus élevée en zone soudanienne qu'en zone soudano-guinéenne et elle diminue avec la densité de la couverture végétale. La couverture végétale a donc un effet sur la densité des adultes et de la régénération. Le type de sol, la structure/texture du sol et le passage du feu influencent aussi la densité de la régénération. Le rôle de la lumière est mis en exergue dans le développement *D. microcarpum* et sa capacité à faire face à la concurrence liée à la lumière et dans une certaine mesure, le besoin de stress ou en minéraux pour sa régénération en peuplement naturel. Dans la zone soudanienne, la ressource *D. microcarpum*

potentiellement disponible avec un pool de reconstitution est donc influencée par les facteurs environnementaux et anthropiques. Il s'avère nécessaire de déterminer les modalités de son exploitation comme bois énergie pour en assurer une gestion durable.

Remerciements

Les auteurs remercient les populations des localités de collecte des données et les sieurs SOULE Fawaz, TABE Emmanuel, HOUENDO Arsène, GBEDJISSOKPA Isaac, FALETI Kalif, KPATCHAVI Lavoisier, et PONTIKAMOU Robert pour avoir participer à la collecte des données.

Références

Adjahossou SGC, Gouwakinnou GN, Houéhanou DT, AI Sode, Yaoitcha AS, Houinato MRB, Sinsin B., 2016. Effectiveness of protected areas in the conservation of priority favorable habitats of valuable woody in Benin. *Woods and forests of the tropics*. French; **328**(67-76):2.

Adjonou, K., Ali, N., Kokutse, A. D., & Novigno, S. K., 2010. Etude de la dynamique des peuplements naturels de *Pterocarpus ericaceus* poir. (Fabaceae) surexploités au Togo. *Bois & Forets des Tropiques*, **306**(4), 45–55. https://doi.org/10.19182/bft2010.306.a20431

Adomou, A. C., B. Sinsin et L. J. G. van der Maesen., 2006. Phytosociological and chorological approaches to phytogeography: a meso-scale study in Benin Notulae Florae Beninensis 12. *Syst. Geogr. Pl*., **76**, pp. 155-178.

Adomou, A. C., O. P. Agbani et B. Sinsin, 2011. Plantes. 21-46, dans : Neuenschwander, P., B. Sinsin et G.Georgen, (Eds.). Protection de la Nature en Afrique de l'Ouest : Une Liste Rouge pour le Bénin. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan,Nigéria, 365 p.

Agambega, François Wenemi, Kadeba Abel, Zampaligre Nouhoun, Zongo Nitiema, Bernadette / Sawadogo Louis et Boussim Joseph Issaka., 2019. Influence de l'anthropisation sur la structure de quatre espèces utilitaires dans le Chantier d'Aménagement Forestier de Cassou, Burkina Faso*. Int. J. Biol. Chem. Sci.* **13**(6): 2666-2682.

Agbo Ignace Relique, Missihoun Antoine Abel, Dagba Aladé Rollande, Assogbadjo Ephrem Achille and Agbangla Clément., 2018. Morphological Variability of *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Caesalpiniaceae) in Benin, West Africa. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry.* **1**(2): 1-12, Article no.AJRAF.41234.

Agbo, I.R., Idohou, R., Vihotogbé, R., Missihoun, A.A., Dagba, R.A., Assogbadjo, E.A., et al., 2019. Spatio-temporal dynamics of sustainable habitats for *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Casalpiniaceae), a priority food tree species in Benin (West Africa). *Modeling Earth Systems and Environment*, **5**: 596– 604. DOI: 10.1007/s40808-018-X0550-x.

Agbo, I.R., Missihoun, A.A., Vihotogbe, R., Assogbadjo, E.A., Ahanhanzo, C. & Agbangla, C., 2017. Impacts des usages traditionnels sur la vulnérabilité de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Caesalpiniaceae) dans le district phytogéographique Zou au Bénin (en Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* **11**(2): 730–742. DOI: 10.4314/ijbcs.v11i2.16.

Agbo, R.I., Idohou, R., Vihotogbe, R., Missihoun, A.A., Dagba, R.A., Assogbadjo, A.E., Agbangla, C., 2018. Spatio-temporal dynamics of suitable habitats for *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Caesalpiniaceae), a priority food tree species in Benin (West Africa). *Model. Earth Syst. Environ*. 0, 0. https://doi.org/10.1007/s40808-018-0550-x

Albuquerque UP., 2006. Re-examining hypotheses concerning the use and knowledge of medicinal plants a study in the Caatinga vegetation of NE Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*; **2**: 1-10.

Ambouta, K., 1984. Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'ouest nigérien. Thèse de Doctorat Ingénieur, Université de Nancy I, France, 116 p.

Antoine Vernay. 2017. De la complexité fonctionnelle et écophysiologique des ressources lumières, azote et eau dans le réseau précoce d'interactions entre le jeune chêne (*Quercus petraea*) et deux Poacées (*D. cespitosa et M. caerulea*) : conséquences pour la régénération des chênaies tempérées. Ecologie, Environnement. Université Clermont

Auvergne [2017-2020]. Français. ffNNT : 2017CLFAC081ff. fftel-01818094f

Assédé, E.S.P., Azihou, F.A., Oumarou, M., Sinsin, B., 2015. Effet du relief sur la régénération des espèces ligneuses en zone soudanienne du Bénin. *Bois For. Trop*. **326**, 15–24.

Bastide, B. & Ouedraogo, S.J. 2008. Rejets de Detarium microcarpum et feux précoces. *Bois et Forêts des Tropiques*, **296** (2): 27–37.

Bationo Babou André, Some N Antoine, Ouedraogo Sibiri Jean, Kalinganire Antoine., 2010. Croissance comparée des plantules de cinq espèces ligneuses soudaniennes élevées en rhizotron. Science et changements planétaires / *Sécheresse;***21**(3):196-202. doi:10.1684/sec.2010.0255.

Bellefontaine R, Edelin C, Ichaou A, du Laurens D, Monsarrat A, Loquai C., 2000. Le drageonnage, alternative aux semis et aux plantations de ligneux dans les zones semi-arides: protocole de recherches. *Sécheresse*, **11** (4): 221-226.

Bellefontaine R., 2005. Régénération naturelle à faible coût dans le cadre de l'aménagement forestier en zones tropicales sèches en Afrique. *Vertig O*., **6**(2): 1-1

Bidou Jean Etienne, Droy Isabelle, Houesse Rodrigue et Mering Catherine., 2018. Dynamiques démographiques, vulnérabilité et évolution du couvert végétal au nord Bénin : des interactions complexes. *Espace populations sociétés* [En ligne], 3 | 2018, URL :http://journals.openedition.org/eps/8083 ; DOI : https://doi.org/10.4000/eps.8083

Boussim IJ, Ouedraogogo A, Lankoandé B., 2009. Etude des impacts écologiques dans les unités d'aménagements forestiers des régions du Centre-Nord et du centre-Ouest. In Bois-énergie au Burkina Faso : Consolidation Des Moyens d'Existence Durable (2006 – 2009), Kabré AM, Somda J, Savadogo M, Nianogo AJ (eds).Ouagadougou, Burkina Faso ; 115-139.

Dan Guimbo I, Mahamane A, Ambouta KJM., 2010. Peuplement des parcs à *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance et à *Vitellaria paradoxa* (Gaertn. C.F.) dans le sud-ouest nigérien : diversité, structure et régénération. *Int. J. Biol. Chem. Sci*., **5** (4): 1706 - 1720. DOI: 10.4314/ijbcs.v4i5.65568.

Deguene Bruce, Touckia Gorgon Igor , Yongo Olga Diane et Loumeto Jean Joël.. 2020. Caractérisation structurale des peuplements naturels de *Khaya anthotheca* (Welw.) C.DC dans les concessions forestières du Sud-Ouest de la République Centrafricaine. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **14**(7): 2491-2505.

Fandohan B, Assogbadjo AE, Glele Kakaï RL, Sinsin B, Van Damme P., 2010. Impact of habitat type on the conservation status of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) populations in the W National Park of Benin. *Fruits*, **65**: 11-19.

FAO., 2010. Évaluation des ressources forestières mondiales 2010. Rapport principal. Étude FAO*. Forêts n° 163*, Rome, Italie, 348 p.

FAO., 2022. Résumé de La Situation des forêts du monde 2022. Des solutions forestières pour une relance verte et des économies inclusives, résilientes et durables. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cb9363fr

Feeley JK, Davies SJ, Noor Md NS, Kassim AR, Tan S., 2007. Do current stem size distributions predict future population changes? An empirical test of intraspecific patterns in tropical trees at two spatial scales. *J. Trop. Ecol*., **23**: 191–198.

Felipe de Mendiburu, 2021. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3-5. https://CRAN.R-project.org/package=agricolae.

Fournier A., Sinsin, B. Mensah GA, 2007. Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest ? Conservation de la biodiversité et développement. Editions IRD, collection Colloques et séminaires, Paris. 607p.

Garba, A., Amani, A., Douma, S., Sina, A. K. S., & Mahamane, A. (2020). Structure des populations de Tamarindus indica L. dans la zone Sud-Ouest du Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, ***14***(1), 126-142.

Gillon Dominique., 1990. Les effets des feux sur la richesse en éléments minéraux et sur l'activité °biologique du sol. *Rev. For . Fr.* XLII - n° sp. Pp :295-302.

Glèlè Kakaï R., W. Bonou & A. M. Lykke., 2016. Approche méthodologique de construction et d'interprétation des structures en diamètre des arbres. *Annales des Sciences Agronomiques* **20 -** spécial Projet Undesert-UE:99-112.

Hotra, L., Kolasky, E. & Voss, J., 2003. Abiotic Factors Influencing the Abundance and Distribution of Marsh Marigolds Along Carp Creek. Undergraduate students, university of Michigan, Pellston, USA.

Imdad, M. U. & Aslam, M., 2018. mctest: Multicollinearity Diagnostic Measures. URL https://CRAN.R-project.org/package=mctest, R package version 1.3.1

INSAE, 2015. Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH)-4 : Que retenir des effectifs des populations ? 33 p.

John Fox and Sanford Weisberg., 2019. An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/

Kouyate AM, Lamien N., 2011. Conservation et utilisation durable des ressources génétiques des espèces ligneuses alimentaires prioritaires de l'Afrique subsaharienne. INERA, Centre Régional de Recherches Environnementales et Agricoles, Burkina Faso, 8p.

Kouyaté, A.M., 2005. Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au Mali. PhD thesis, Université de Gent, Gent, Belgium.

Lamy Lamy Georges Maxime, Dona Adoum, Ndjib Rosette, Ottou Abe Martin Thierry, Dalatou Talba, Amougou Alega Constantin, Fawa Guidawa, Tchingsabé Obadia, Zebaze Zambou Leila, Meli Phalone Kenne, Nzweundji Germo Justine, Donfagsiteli Néhémie Tchinda, Aaron Jason Carver, Dongmo Bernard, Hubert Mbita Messi Jean Claude, Ibrahima Adamou & Mapongmetsem Pierre Marie., 2021. Ecology and structure of *Detarium microcarpum* guill. & perl. Population in the mbe plain of the Adamawa, Cameroon. *European Journal of Ecology*, **7.**1, pp. 1-11.

Madjimbe, G., Saradoum, G., Goalbaye, T., Waya, E., and Pounakoumna, J., 2019. Dynamique des peuplements ligneux dans le Parc National de Manda, au sud du Tchad. *J. Anim. Plant Sci.* **42**, 7139–7152.

Mensah S., T. D. Houehanou, E. A. Sogbohossou, A. E. Assogbadjo et R. Glèlè Kakaï, 2014. Effect of human disturbance and climatic variability on the population structure of *Afzelia africana* Sm. ex pers. (Fabaceae–Caesalpinioideae) at country broad-scale (Bénin, West Africa), *South African Journal of Botany*, **95**, pp. 165–173.

Nacoulma BMI., 2005. Etude des espèces ligneuses utilisées en médecine traditionnelle vétérinaire dans la zone de Nobéré (Burkina Faso). Mémoire de DEA. Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 74p.

Natta, A. K., H. Yédomonhan, N. Zoumarou-Wallis, J. Houndéhin, E.B.K. Ewédjè et R.L. Glèlè Kakaï, 2011. Typologie et structure des populations naturelles de *Pentadesma butyracea* dans la zone soudano-guinéenne du Bénin, *Annales des Sciences Agronomiques*, **15**, pp. 217-243.

Raison (R .J), Woods (P.V.), Khanna (P.K.).,1986. Decomposition and accumulation of litter after fire in sub alpine eucalypt forests. — *Australian Journal of Ecology*, **11**, pp . 9-19.

Sawadogo L., 2006. Adapter les approches de l'aménagement durable des forêts sèches aux aptitudes sociales, économiques et technologiques en Afrique. Le cas du Burkina Faso. *Center for International Forestry Research*, 59p.

Sinadouwirou T.A., Dicko A., Assede E., Biaou S.S.H. and Natta K.A., 2022. Traditional uses of *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Fabaceae) and potential for its valorization as fuelwood. *Int. Jour. Bio.Chem.Sci.* **16***(4).* Pp: 1434-1447.

Thiombiano A, 2005. Les Combretaceae du Burkina Faso. Taxonomie, écologie, dynamique et régénération. Thèse d'Etat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 295p.

Traoré Lassina, Sambare Oumarou, Avadogo Salfo S, Ouedraogo Amadé et Thiombiano Adjima., 2020. Effets combinés des facteurs anthropiques et climatiques sur l'état des populations de trois espèces ligneuses vulnérables*. Int. J. Biol. Chem. Sci.* **14**(5): 1763-1785.

Venables, W. N. & Ripley, B. D., 2002. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.

World Bank., 2003. World development report 2003. Sustainable Development in a Dynamic World: Transforming Institutions, Growth, and Quality of Life. Oxford University Press: New Delhi.